Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 1, Mar.-Apr. 2023, p. 95-112

The Effect of Wetting and Drying Cycles on Selected Physical Indicators of Biochar- and Rockwool-Based Growth Media

S. Shahmansouri[1], M.R. Mosaddeghi[2*], H. Shariatmadari[3]

Received: 13-11-2022 Revised: 03-01-2023 Accepted: 04-01-2023 Available Online: 04-01-2023	**How to cite this article:** Shahmansouri, S., Mosaddeghi, M.R., & Shariatmadari, H. (2023). The Effect of Wetting and Drying Cycles on Selected Physical Indicators of Biochar- and Rockwool-Based Growth Media. *Journal of Water and Soil 37*(1): 95-112. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2023.79577.1226

Introduction

Monitoring the changes in physical and hydraulic properties and stability of growth media due to root growth effects and wetting and drying cycles is important. Wetting and drying cycles can probably change physical characteristics, availability of water, air and nutrients for the plant and, as a result, might affect the growth and yield of the greenhouse plants. The growth period greatly affects the physical characteristics of the growth substrates; therefore, the watering of growth substrates should be managed according to these changes to avoid improper irrigation.

Materials and Methods

In this study, 14 growth media were prepared from individual substrates with different volumetric ratios. In order to evaluate the changes of growth media over the time (i.e., during consecutive irrigation events) in the greenhouse, 10 wetting and drying cycles were applied on the growth media in the lab. Several physical indicators including easily available water (EAW), air after irrigation (AIR), water buffering capacity (WBC) and water holding capacity (WHC) of the growth media were determined before and after the wetting and drying cycles. Besides, the subsidence, decrease of mass and decomposition of the growth media were determined over the time. Total porosity (TP), bulk density (BD), particle density (PD), pH and electrical conductivity of the mixtures were measured as well.

Results and Discussion

The pH values in the growth media varied from 5.72 to 6.94. The maximum pH value was related to sawdust-sugarcane bagasse biochar produced at 300°C vermiculite-zeolite, and wheat straw-vermiculite substrates, and the minimum value was related to the cocopeat-perlite substrate. The values of EC in the growth media varied from 0.21 to 1.43 dS m^{-1}. The highest and lowest EC values among the growth substrates were related to date palm bunches-vermiculite-rockwool and rockwool (0.2)-perlite substrates, respectively. The bulk density (BD) values of the growth media varied in the range of 0.163–0.401 Mg m^{-3}. The values of total porosity (TP) of the growth media varied in the range of 64.8–82.8%v/v. The highest TP was related to the cocopeat-perlite substrate. The TP values of most of the substrates were greater than 70%v/v. The average values of EAW in the growth substrates ranged from 0.123 to 0.272 cm^3 cm^{-3}. The highest EAW was related to the sawdust-sawdust biochar produced at 500 ◦C vermiculite-zeolite substrate. The application of wetting and drying cycles increased EAW in most of the growth media. Therefore, it can be stated that the time had a positive effect on the EAW in most of the growth media. The average values of AIR before and after the application of wetting and drying cycles for the growth media varied in the range of 0.063–0.240 cm^{-3} cm^3. The highest value of this indicator was observed in the sawdust-date palm bunches biochar produced at 300°C vermiculite substrate. In all substrates (with the exception of the sawdust-sawdust biochar produced at 500°C vermiculite-zeolite), the AIR increased after wetting and drying

1, 2 and 3- Graduated M.Sc. and Professors, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: mosaddeghi@iut.ac.ir)

cycles. The range of WHC values before and after applying wetting and drying cycles was 0.453–0.699 cm^3 cm^{-3}. The highest WHC belonged to the wheat straw-vermiculite substrate. The WHC values of five growth media, including cocopeat-perlite, decreased due to the application of wetting and drying cycles, and the WHC values of nine growth media decreased. The most stable substrate after the wetting and drying cycles was rockwool-sawdust-vermiculite. The effect of time on the quantity of WBC was positive, so that with the application of wetting and drying cycles, the WBC values of most of the substrates increased. In all substrates, subsidence and dry weight reduction were observed after the wetting and drying cycles. These changes were low for the substrates with a high volumetric ratio of inorganic materials. The least change among the growth substrates in terms of decomposition (dry weight reduction) was related to the completely inorganic substrate rockwool (0.1)-perlite (%0.17). The most stable substrate in terms of subsidence after wetting and drying cycles was the rockwool-sawdust-vermiculite, which has a large volumetric ratio of individual inorganic substrates. The highest subsidence was observed in the substrates containing wheat straw (wheat straw-vermiculite and date palm bunches biochar produced at 300◦C wheat straw-vermiculite). The organic matter content in all the growth substrates decreased over time (after wetting and drying cycles). The decrease of organic matter in the substrates can be related to the decomposition of organic materials as a result of wetting and drying cycles.

Conclusion

The BD, TP, EAW and WHC of the majority of growth media were in the optimal ranges and for some mixtures even better than cocopeat-perlite. Wetting and drying cycles could affect the growth media through several processes such as decomposition of organic compounds, displacement and rearrangement of particles, fragmentation of particles, shrinkage, hardening and subsidence. The growth media with a high percent of organic substrates were unstable as compared with those containing a high proportion of inorganic substrates. In general, the wetting and drying cycles increased the frequency of micropores in the growth media. The wetting and drying cycles positively affected EAW, WHC, AIR and WBC of most growth media. These findings imply that wetting and drying cycles may improve the growth media according to the studied extensive variables. However, it is necessary to study the intensive variables such as hydraulic conductivity, oxygen diffusion and pore tortuosity in the growth media for better evaluation of the impact of wetting and drying cycles as well.

Keywords: Air after irrigation, Easily available water, Growth medium, Water retention, Wetting and drying cycles

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۱، فروردین- اردیبهشت ۱۴۰۲، ص. ۱۱۲-۹۵

اثر دوره‌های تر و خشک‌شدن بر برخی شاخص‌های فیزیکی بسترهای رشد بر پایه بیوچار و پشم‌سنگ

شاهرخ شاهمنصوری[۱]- محمد رضا مصدقی[۲*]- حسین شریعتمداری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴

چکیده

بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و پایداری بسترها در حین کشت گیاه به دلیل تغییراتی که در اثر رشد ریشه و دوره‌های تر و خشک شدن رخ می‌دهد، ضروری است. در این پژوهش ۱۴ بستر رشد ترکیبی با نسبت‌های مختلف حجمی از مواد جداگانه تهیه شدند. در ابتدا تخلخل کل (TP)، چگالی ظاهری (BD)، چگالی حقیقی (PD)، pH و رسانایی الکتریکی (EC) در بسترهای رشد اندازه‌گیری شده و در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی شد. به منظور بررسی تغییرات بسترهای رشد با گذشت زمان (آبیاری‌های متوالی) در کشت‌های گلخانه‌ای، ۱۰ دوره متوالی تر و خشک‌شدن (حدود ۸۰ روز) بر بسترهای رشد اعمال شد. پیش از اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن و پس از اعمال آخرین دوره، شاخص‌های متعدد فیزیکی و هیدرولیکی شامل آب به آسانی قابل دسترس (EAW)، گنجایش هوایی پس از آبیاری (AIR)، گنجایش بافری آب (WBC) و گنجایش نگهداشت آب (WHC) در بسترها تعیین شد. همچنین میزان نشست، درصد کاهش جرم و میزان تجزیه مواد آلی بسترها با گذشت زمان تعیین شد. این بخش آزمایش در قالب طرح کرت‌های خرد شده در زمان با طرح پایه کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل شد. مقادیر BD، TP، EAW و WHC در اکثر بسترهای رشد در دامنه‌های مطلوب بود و حتی در برخی از موارد از بستر کوکوپیت-پرلیت (به عنوان شاهد) بهتر بودند. اعمال دوره‌های تر و خشک شدن بر بسترهای رشد سبب تجزیه مواد آلی، به‌هم‌خوردگی و تغییر آرایش ذرات، خرد شدن ذرات آلی و معدنی، انقباض، سخت‌شدن و نشست آن‌ها شد. نتایج نشان داد بسترهای با مقدار قابل توجه مواد آلی ناپایدارتر از بسترهای معدنی یا غالباً معدنی بودند. به طور کلی اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن سبب افزایش معنی‌دار تخلخل و فراوانی منافذ ریز در بسترهای رشد شد. این دوره‌ها اثر مثبتی بر ویژگی‌های EAW، WHC، AIR و WBC اکثر بسترهای رشد داشته و سبب افزایش آن‌ها شد. این یافته بیانگر بهبود بسترهای رشد با گذشت زمان (دوره‌های تر و خشک‌شدن) بر اساس متغیرهای مقداری مذکور بود اگرچه برای ارزیابی بهتر، بررسی اثر این دوره‌ها بر متغیرهای شدتی مانند هدایت هیدرولیکی، پخشیدگی اکسیژن و اعوجاج منافذ در بسترهای رشد نیز ضروری است.

واژه‌های کلیدی: آب به آسانی قابل دسترس، بستر رشد، دوره‌های تر و خشک‌شدن، گنجایش نگهداشت آب، گنجایش هوایی پس از آبیاری

مقدمه

مدیریت آبیاری برای جلوگیری از خفگی ریشه، آبشویی عناصر غذایی، بیماری‌های گیاه در اثر آبیاری بیش از حد، کمبود آب و عناصر غذایی و سپس تنش فیزیولوژیک گیاه، در بسترهای کشت اهمیت حیاتی دارد. بنابراین، بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی بسترها در حین کشت گیاه به دلیل تغییراتی که در اثر رشد ریشه و دوره‌های تر وخشک شدن رخ می‌دهد، کاملاً ضروری است. دوره‌های تر و خشک‌شدن احتمالاً می‌تواند منجر به تغییر در ویژگی‌های فیزیکی، فراهمی آب، هوا و عناصر غذایی برای گیاه و در نتیجه، کاهش رشد و عملکرد گیاه و یا محصول شود. پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که دوره رشد تا حد زیادی بر ویژگی‌های فیزیکی بسترهای رشد تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین، باید در مدیریت آبیاری بسترهای رشد با

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادان گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mosaddeghi@iut.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.2023.79577.1226

توجه به این تغییرات تجدید نظر شود تا از آبیاری نامنا سب جلوگیری شود (Michel and Kerloch, 2017). کیفیت و پایداری بستر ر شد مرتبط با ویژگی‌های فیزیکی آن مانند توزیع اندازه ذرات و منافذ بوده که بر ذخیره و تبادل آب و هوا اثر می‌گذارد. به طور کلی انتظار می‌رود کیفیت بسترهایی که برای ر شد گیاه منا سب ه ستند، در اثر گذ شت زمان به دلیل چندین فرآیند کاهش یابد. با گذشـــت زمان از کاربرد بســتر رشــد، ذخیره هوای بســتر کاهش یافته که می‌تواند به‌دلیل خردشـــدن ذرات به اندازه‌های ریزتر (Bures *et al.*, 1993)، تجزیه مواد آلی و جداشدن فیزیکی فیبرهای مواد آلی (Nash and Laiche, 1981) و انقباض و خشک‌شدن بسترها (Brückner, 1996) باشد؛ در نهایت این فرآیندها عموماً منجر به کاهش اندازه‌ی منافذ می‌شـوند. با کاهش اندازه‌ی منافذ بسترهای ر شد، تخلخل تهویه‌ای کاهش یافته و نگه‌داشـــت آب افزایش می‌یابد. بر اســاس نتایج دی‌بودت و وردانک (De Boodt and Verdonck, 1971)، مقدار تخلخل تهو یه‌ای در بسترهای ر شد، با گذ شت زمان سه ماه از شروع آزمایش به کم‌تر از مقادیر بهینه برای رشـد گیاه کاهش یافت. چون تخلخل تهویه‌ای کم با کاهش رشـد گیاه همراه اسـت، کاهش تخلخل تهویه‌ای و افزایش نگهداشت آب نشان‌دهنده زوال کیفیت بستر است.

میشل و کرلوچ (Michel and Kerloch, 2017) اثر دوره‌های تر و خشک شدن را بر ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی چند بستر ر شد بررسـی کردند. نتایج آن‌ها نشـان داد که دوره‌های تر و خشـک شدن نقش اصلی در تغییر ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی بسترهای ر شد ایفا می‌کنند. دوره‌های تر و خشک‌شدن علی‌رغم کاهش حجم بستر و اندازه منافذ، سبب بهبود نگهدا شت و جریان آب و هوا به دلیل بهبود اتصال منافذ، بهبود جریان آب و هوا و کاهش اعوجاج منافذ بسترهای ر شد در مقایسه با زمان ابتدایی، شدند. کرون و همکاران (Caron *et al.*, 2010) نشـان دادند که تخلخل تهویه‌ای بسـتر با گذشـت زمان کاهش می‌یابد. این تغییر می‌تواند به دلیل تراکم، نشـسـت[1] بسـتر و بازآرایی ذرات در گلدان در اثر دوره‌های تر و خشک‌شدن باشد. آلایر و همکـاران (Allaire-Leung *et al.*, 1999) و کرلوچ و میشـــل (Kerloch and Michel, 2015) افزایش نگهداشـت آب در مکش ماتریک ۱۰ hPa را در اثر دوره‌های تر و خ شک شدن برای بسترهای ر شد بر پایه پیت گزارش کردند، ولی مواد در شت مانند پو ست درخت کاج، الیاف چوب و الیاف نارگیل تغییر قابل‌توجهی نداشتند.

تیورنن و همکاران (Turunen *et al.*, 2019) پس از اعمال چهار دوره تر و خشک‌شدن بر بسترهای پیت ماس، پیت روشن و پیت تیره بیان کردند که ارتفاع همه بسـترهای مورد بررسـی در مکش ماتریک ۱۰۰ hPa، کاهش یافت. به طور میانگین، کاهش ارتفاع نمونه در پیت ماس، پیت روشـن و پیت تیره به ترتیب ۳/۱، ۳/۹ و ۲/۵ درصـد بود.

1- Subsidence

کاناوو و همکاران (Cannavo *et al.*, 2011) اثر گذر زمان و آبیاری را بر بستر ر شد پیت ا سفگنوم برر سی کردند. آن‌ها این پژوهش را در دو بخش با ک شت و بدون ک شت گیاه، انجام دادند. در پایان آزمایش، نگهداشـت آب در بسـترهای با کشـت و بدون کشـت گیاه به ترتیب ۱/۲۷ و ۱/۱۹ برابر بیش‌تر از مقادیر اولیه آن‌ها بود. میشل و همکاران (Michel *et al.*, 2011) دو بسـتر رشـد پیت با اندازه ذرات ۱۰-۰ و ۴۰-۲۰ میلی‌متر زیر کشـت را در گذر زمان مورد بررسـی قرار دادند. پس از گذشـت ۱۱۰ روز منافذ درشـت کم و منافذ ریز زیاد شـدند که نتیجه‌ی آن افزایش رطوبت اشــباع و کاهش آب قابل دســترس و تخلخل تهویه‌ای برای هر دو بســتر بود. همچنین صــفادوســت و همکاران (Safadoust *et al.*, 2012) مشـــاهده کردند که اعمال دوره‌های تر و خ شک شدن سبب ایجاد درز و ترک و افزایش رطوبت اشباع در خاک شد.

بیوچار ماده‌ای جامد، متخلخل و کربن‌دار اسـت که در اثر فرآیند ترموشــیمیایی مواد آلی در محیط بدون اکســیژن تولید می‌شــود. از مانده‌های آلی مختلف مانند چوب، باقی‌مانده‌های سبز، کودهای دامی و باقی‌مانده‌های کشـــاورزی می‌توان برای تولید بیوچار اســتفاده کرد (Abrishamkesh *et al.*, 2015). ویژگی‌های فیزیکی و شــیمیایی بیوچار تولیدی به نوع ماده خام اولیه مورد اسـتفاده برای تهیه بیوچار و شرایط پیرولیز (دمای پیرولیز، نرخ افزایش دما و زمان) بستگی دارد. به طور کلی، اغلب بیوچارها در برابر تجزیه شـیمیایی و بیولوژیک مقاوم بوده و بنابراین برای ترسیب کربن مناسب هستند. استفاده از بیوچارها فرصـتی مناسـب برای افزایش پایداری اقتصـادی و زیسـت‌محیطی بسـترهای رشـد بدون خاک با جایگزینی مواد تجدیدناپذیر مانند پیت اسـت (Massa *et al.*, 2019). افزودن بیو چار با بافت ریز با عث افزایش نگه‌داشـت آب بسـترهای رشـد می‌شـود، در حالی که افزودن بیوچار با بافت درشت، مشابه با کارکرد پرلیت باعث افزایش زهکشی و هوادهی بسـترها می‌شـود. علاوه بر این، بیوچار مزایای دیگری مانند افزایش گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) و بافر نمودن pH بسـترهای رشد مخلوط بر پایه پیت اسیدی دارد. علی‌رغم تمام مزایای آن، بیوچار هنوز یک ب ستر ر شد بهینه نی ست و ویژگی‌های آن ب سته به منبع آن متفاوت اسـت (Banitalebi *et al.*, 2019; Banitalebi *et al.*, 2021; Nemati *et al.*, 2015).

به طور کلی بسترهایی برتری دارند که ویژگی‌های آن‌ها با گذشت زمان پایدار مانده و امکان ا ستفاده مجدد از آن‌ها در ک شت‌های بعدی گلخانه‌ای فراهم گردد. از ویژگی‌های مهم بسترهای رشد، شاخص‌های نگهدا شت آب و تهویه ا ست. بنابراین در این پژوهش اثر دوره‌های تر و خشک‌شدن بر شاخص‌های نگهداشت آب و تهویه در بسترهای رشد رایج گلخانه‌ای بررسـی شـد. پشـم‌سـنگ ماده‌ای خنثی و معمولاً از

گرمادهی سنگ آذرین (اغلب بازالت) به دست آمده و در عایق‌کاری و صنایع مهندسی استفاده می‌شود. تخلخل این ماده زیاد بوده و چگونگی آب‌دهی آن مشابه شن (آب‌دهی سریع با کاهش پتانسیل ماتریک) است. از این ماده هم به صورت جدا و هم در ترکیب با بسترهای رشد دیگر می‌توان استفاده نمود (Deepagoda *et al.*, 2013). پشم‌شیشه از ذوب کردن و تبدیل شیشه (کوارتز) به الیاف ریز تولید شده و مشابه پشم سنگ یک عایق بسیار خوب در برابر گرما و صوت است ولی از نظر اقتصادی کاربرد پشم‌سنگ در بسترهای رشد صرفه اقتصادی بیش‌تری دارد.

بر اساس آمار وزارت کشاورزی ایران (۱۴۰۱)، حدود ۵/۳ میلیون هکتار از زمین‌های کشور به کشت گندم اختصاص یافته است و سالانه مقادیر زیادی بقایای گندم (کاه گندم) بدون استفاده بهینه (مانند سوزاندن یا دفن کردن) از بین می‌رود. قیمت کاه گندم نسبت به مواد رایج در گلخانه‌ها مانند کوکوپیت که از کشورهای خارجی مانند هند و سریلانکا با قیمت زیاد وارد می‌شود بسیار کم‌تر است. علاوه بر کاه گندم، مقادیر زیادی خاک اره[1]، باگاس نیشکر[2]، پوسته شلتوک برنج[3] و خوشه خرما[4] در کشور تولید می‌شود. ارزیابی این پسماندها و بیوچار آن‌ها می‌تواند داده‌های خوبی برای تولیدکنندگان گلخانه فراهم کند تا برای ساخت و انتخاب بسترهای بهتر بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی تصمیم‌گیری نمایند (Banitalebi *et al.*, 2019). تناسب این مواد به عنوان بستر رشد، پایداری ویژگی‌های آن‌ها در طول زمان و مقایسه آن‌ها با بستر رایج کوکوپیت-پرلیت در پژوهش حاضر مد نظر بوده است. مقایسه بسترهای رشد بر پایه بیوچار و پشم سنگ از نظر پایداری ویژگی‌های آن‌ها در برابر دوره‌های متناوب تر و خشک شدن از جنبه‌های نوآوری این پژوهش است که در پژوهش‌های پیشین کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش بررسی پایداری شاخص‌های نگهداشت آب و تهویه ۱۴ بستر رشد بر پایه‌ی بیوچار و پشم‌سنگ پس از اعمال ده دوره تر و خشک‌شدن است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، چهارده بستر رشد ترکیبی (از جمله کوکوپیت-پرلیت به عنوان بستر شاهد) با نسبت‌های مختلف حجمی از مواد متفاوت تهیه شدند. از ۱۴ بستر رشد ترکیبی، ۹ بستر بر اساس پژوهش‌های بنی‌طالبی و همکاران (Banitalebi *et al.*, 2019) و ۵ بستر اغلب حاوی پشم سنگ نیز با توجه به اهمیت کاربرد پشم سنگ تولید داخلی در کشت‌های بدون خاک، تهیه شدند. تیمارهای انتخابی نهایی شامل ۱۴ بستر ترکیبی به شرح زیر بودند (اعداد درون پرانتز نسبت حجمی هر ماده در بستر رشد ترکیبی را نشان می‌دهد):

۱) کوکوپیت (Cocopeat) (۰/۸) + پرلیت (Perlite) (۰/۲) (بستر شاهد)
۲) پشم‌سنگ (RW) (۰/۱) + پرلیت (Perlite) (۰/۹)
۳) پشم‌سنگ (RW) (۰/۲) + پرلیت (Perlite) (۰/۸)
۴) کاه گندم (WS) (۰/۴) + ورمیکولیت (V) (۰/۶)
۵) پوسته شلتوک برنج (Rh) (۰/۱) + بیوچار خوشه خرما دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس (PlmB300) (۰/۱) + ورمیکولیت (V) (۰/۸)
۶) بیوچار کاه گندم دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس (WSB500) (۰/۱) + پوسته شلتوک برنج (Rh) (۰/۴۵) + ورمیکولیت (V) (۰/۴۵)
۷) خاک اره (Sd) (۰/۳) + بیوچار خاک اره دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس (SdB500) (۰/۳) + ورمیکولیت (V) (۰/۲) + زئولیت (Z) (۰/۲)
۸) خاک اره (Sd) (۰/۴) + بیوچار خوشه خرما دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس (PlmB300) (۰/۲) + ورمیکولیت (V) (۰/۴)
۹) بیوچار خوشه خرما دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس (PlmB300) (۰/۲) + کاه گندم (WS) (۰/۳) + ورمیکولیت (V) (۰/۵)
۱۰) خوشه خرما (Plm) (۰/۴) + بیوچار خاک اره دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس (SdB500) (۰/۲) + ورمیکولیت (V) (۰/۴)
۱۱) خاک اره (Sd) (۰/۲) + بیوچار باگاس نیشکر دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس (SCB300) (۰/۲) + ورمیکولیت (V) (۰/۳) + زئولیت (Z) (۰/۳)
۱۲) خوشه خرما (Plm) (۰/۴) + ورمیکولیت (V) (۰/۲) + پشم‌سنگ (RW) (۰/۴)
۱۳) پشم‌سنگ (RW) (۰/۲) + خاک اره (Sd) (۰/۴) + ورمیکولیت (V) (۰/۴)
۱۴) خوشه خرما (Plm) (۰/۴) + ورمیکولیت (V) (۰/۲) + کوکوپیت (Cocopeat) (۰/۴)

مکان تهیه نمونه و اندازه ذرات اجزاء برای تهیه بسترهای رشد در جدول ۱ ارائه شده است.

اندازه‌گیری ویژگی‌های معمول بسترهای رشد

مقادیر pH و EC بسترهای رشد در عصاره نسبت حجمی ۱/۵ : ۱ آب مقطر: بستر رشد و به کمک دستگاه‌های pHمتر و ECمتر اندازه‌گیری شد. برای این منظور ابتدا نمونه بستر رشد تحت مکش ماتریک 32 hPa در دستگاه جعبه شن قرار داده شد و سپس درون دو سیلندر که بر روی یکدیگر قرار گرفته بودند، ریخته شد.

1- Sawdust
2- Sugarcane bagasse
3- Rice hull
4- Date palm bunches

جدول ۱- مکان تهیه و اندازه ذرات مواد مورد استفاده

Table 1- Sampling location and particle size of the used substrates

ماده **Substrate**	اندازه ذرات **Particle size (mm)**	مکان تهیه نمونه **Sampling location**
پشم‌سنگ Rockwool	_	ایران، اصفهان Iran, Isfahan
زئولیت Zeolite	1-2	ایران، سمنان Iran, Semnan
ورمیکولیت Vermiculite	3-5	ایران، یزد Iran, Yazd
پرلیت Perlite	< 4	ایران، اصفهان Iran, Isfahan
کوکوپیت Cocopeat	اندازه طبیعی Natural size	هند India
خاک اره Sawdust	< 2	ایران، اصفهان Iran, Isfahan
باگاس نیشکر Sugarcane bagasse	< 2	ایران، خوزستان Iran, Khuzestan
خوشه خرما Date palm bunches	< 2	ایران، خوزستان Iran, Khuzestan
پوسته شلتوک برنج Rice hull	< 2	ایران، گیلان Iran, Gilan
کاه گندم Wheat straw	< 2	ایران، اصفهان Iran, Isfahan

ارتفاع و قطر سیلندر پایینی به‌ترتیب ۴/۵ و ۵/۳ سانتی‌متر (حجم تقریباً ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب) بود. مواد ریخته‌شده به مدت ۱۰ ثانیه تحت فشار محوری ۱۰۰ hPa فشرده شد، سپس به کمک یک تیغ تیز مواد در سیلندر رویی از سیلندر زیری جدا شد و محتوای سیلندر زیری با ۱/۵ برابر حجم این سیلندر با آب در یک ظرف آزمایشگاهی با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر ترکیب شد و به مدت ۱۵ دقیقه بر روی دستگاه شیکر قرار داده شد. در نهایت اجازه داده شد تا سوسپانسیون به مدت یک ساعت بر روی یک سطح صاف در حالت سکون قرار گیرد. سپس سوسپانسیون حاصله با کاغذ صافی صاف شده و مقادیر EC و pH آن اندازه‌گیری شد (Raviv and Lieth, 2008).

چگالی ظاهری (BD) بسترهای رشد با استفاده از یک ظرف با حجم یک لیتر و نسبت ارتفاع به قطر بین ۰/۹ : ۱ تا ۱ : ۱ اندازه‌گیری شد. نمونه‌های بستر در یک سیلندر استیل قرار داده شده و با استفاده از دستگاه تک‌محوری تحت فشار محوری محصور برابر ۹ hPa بارگذاری شدند (Raviv and Lieth, 2008). پس از متراکم نمودن نمونه‌ها، حجم آن‌ها محاسبه شده و از نسبت جرم (M_s) به حجم نمونه (V_t) مقدار چگالی ظاهری (BD) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\mathrm{BD} = \frac{M_s}{V_t} \qquad (۱)$$

چگالی حقیقی (PD) همه بسترها با روش نفت سفید[1] اندازه‌گیری شد. در این روش، نمونه آون-خشک وزن شده، در درون پیکنومتر ریخته شده و حجم مواد خشک‌شده با استفاده از جابجایی حجم توسط نفت سفید تعیین شد (Gupta *et al.*, 2002). تخلخل کل (TP) بسترهای رشد با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن بر بسترهای رشد و اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیکی آن‌ها

به منظور بررسی تغییرات بسترهای رشد با زمان (آبیاری‌های متوالی) در کشت‌های گلخانه‌ای، ۱۰ دوره متوالی تر و خشک‌شدن (به مدت حدود ۸۰ روز) بر بسترهای رشد اعمال شد. ابتدا نمونه‌های بستر در سیلندرهای استیل با قطر ۵/۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۴/۵ سانتی‌متر ریخته شده و به منظور جلوگیری از حبس حباب‌های هوا از زیر اشباع شدند. سپس نمونه‌ها در مکش ماتریک ۳۲ hPa در دستگاه جعبه شن قرار گرفته و پس از رسیدن به تعادل در این مکش، تحت فشار محوری محصور ۲۰۰ hPa قرار گرفته و نمونه‌ها مجدداً از کف اشباع

1- Kerosene method

شدند (Raviv and Lieth, 2008). در هر دوره تر-خشک شدن، ابتدا نمونه‌ها در دستگاه جعبه شن[1] تحت مکش ماتریک صفر (مسیر تر شدن) قرار داده شد تا رطوبت آن‌ها به اشباع بر سد. سپس نمونه‌ها تحت مکش ماتریک ۱۰۰ hPa (مسیر خشک شدن) قرار گرفتند. این مراحل برای ۱۰ دوره متوالی تکرار شد. پس از اعمال ۱۰ دوره تر و خشک‌شدن، نمونه‌ها در آون و در دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفته و میزان کاهش ارتفاع نمونه‌های بستر با کولیس اندازه‌گیری شد. پیش از اعمال دوره‌های تر و خشک شدن و پس از اعمال آخرین (دهمین) دوره، شاخص‌های نگهداشت آب و تهویه در بسترهای رشد محاسبه شد. میزان نشست نسبی، کاهش جرم نسبی بسترها و میزان تجزیه مواد آلی آن‌ها با اندازه‌گیری مقدار ماده آلی تعیین شد. همچنین پیش از اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسترهای رشد شامل تخلخل کل، تخلخل تهویه‌ای، چگالی ظاهری، چگالی حقیقی، pH و EC در سه تکرار اندازه‌گیری شد.

$$TP = 1 - \frac{BD}{PD} \qquad (۲)$$

پیش و پس از اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن، نگهداشت رطوبت بسترهای رشد در مکش‌های ماتریک ۰، ۱۰ و ۵۰ hPa با دستگاه جعبه شن و در مکش ماتریک ۱۰۰ hPa با دستگاه صفحه فشاری اندازه‌گیری شد (Raviv and Lieth, 2008). سپس درصد حجمی گنجایش هوایی پس از آبیاری (AIR)[2]، آب به آسانی قابل دسترس (EAW)[3] و گنجایش بافری آب (WBC)[4] با روابط زیر محاسبه شد. در این تعاریف، AIR بیانگر تفاضل بین رطوبت اشباع و مقدار رطوبت در مکش ماتریک ۱۰ hPa، EAW بیانگر مقدار آب آزادشده از بستر رشد در دامنه‌ی مکش ماتریک ۱۰ تا ۵۰ hPa (معمولاً حدود ۹۰-۷۵٪ مقدار کل آب قابل دسترس)، WBC برابر با مقدار آب آزاد شده از بستر در دامنه‌ی مکش ماتریک ۵۰ تا ۱۰۰ hPa و WHC گنجایش نگهداشت آب[5] در مکش ماتریک ۱۰ hPa است (De Boodt and Verdonck, 1971):

$$AIR = \theta_0 - \theta_{10} \qquad (۳)$$

$$EAW = \theta_{10} - \theta_{50} \qquad (۴)$$

$$WBC = \theta_{50} - \theta_{100} \qquad (۵)$$

$$WHC = \theta_{10} \qquad (۶)$$

که در این روابط θ_0، θ_{10}، θ_{50} و θ_{100} به‌ترتیب بیانگر مقادیر رطوبت در مکش‌های ماتریک صفر (رطوبت اشباع)، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ هکتوپاسکال بر حسب $cm^3\ cm^{-3}$ هستند.

اندازه‌گیری درصد ماده آلی (OM) و نشست بسترهای رشد

درصد ماده آلی از طریق سوزاندن یک گرم نمونه آون-خشک بستر رشد در کوره با دمای ۵۴۰ درجه سلسیوس و از رابطه زیر محاسبه شد (Abad *et al.*, 2002):

$$\text{ماده آلی }(\%) = \frac{\text{جرم نمونه آون خشک} - \text{جرم خاکستر}}{\text{جرم نمونه آون خشک}} \times 100 \qquad (۷)$$

میزان نشست یا کاهش طول نسبی (ε_a) بسترهای رشد با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Raviv and Lieth, 2008):

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 = \frac{L_0 - L}{L_0} \times 100 \qquad (۸)$$

که در این رابطه ΔL کاهش طول نمونه آون-خشک پس از اعمال دوره های تر و خشک‌شدن و L_0 و L به ترتیب طول نمو نه آون-خشک پیش و پس از اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

از نرم‌افزار SAS 9.6 برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. در این پژوهش از طرح کاملاً تصادفی برای بررسی اثر نوع بستر رشد (۱۴ سطح) بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی عمومی با سه تکرار استفاده شد. همچنین از طرح مرکب کرت‌های خرد شده در زمان در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی برای بررسی اثر نوع بستر رشد (۱۴ سطح) و زمان (۲ سطح شامل پیش و پس از دوره های تر و خشک‌شدن) بر شاخص‌های نگهداشت آب و تهویه بسترهای رشد با سه تکرار استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵ در صد انجام گرفت. رسم نمودارهای مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزارهای MS Excel و SigmaPlot 12.3 انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی بسترهای رشد

در جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در بسترهای رشد، ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که تمامی ویژگی‌های معمول اندازه‌گیری‌شده بین بسترهای رشد تفاوت معنی‌دار دارند (p<۰/۰۱).

1- Sandbox
2- Air after irrigation
3- Easily available water
4- Water buffering capacity
5- Water holding capacity

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در بسترهای رشد

Table 2- Results of analysis of variance for physical and chemical properties in the growth media

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares				
		pH	EC	BD	PD	TP
بستر رشد Growth medium	13	0.37**	0.30**	0.014**	0.173**	84.18**
خطا Error	28	0.04	0.0007	0.00004	0.0019	2.015
ضریب تغییرات CV (%)	-	3.54	21.6	2.98	4.96	1.92

** بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ است؛ EC: رسانایی الکتریکی، BD: چگالی ظاهری، PD: چگالی حقیقی، TP: تخلخل کل.

** stands for significant effect in the probability level of 0.01; EC: electrical conductivity, BD: bulk density, PD: particle density, TP: total porosity.

مقایسه میانگین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی بین بسترهای رشد در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر pH در بسترهای رشد در دامنه ۵/۷۲-۶/۹۴ متغیر بود. بیش‌ترین مقدار pH به ترتیب مربوط به بسترهای Sd-SCB300-V-Z و WS-V و کم‌ترین مقدار مربوط به بستر Cocopeat-Perlite بود (جدول ۳) که با نتایج بنی‌طالبی و همکاران (Banitalebi et al., 2021) همخوانی دارد. مقادیر pH نسبتاً زیاد بسترهای رشد حاوی بیوچار به دلیل ماهیت قلیایی بیوچارهای تولید شده می‌تواند باشد که توسط سایر پژوهشگران از جمله بنی‌طالبی و همکاران (Banitalebi et al., 2021; Banitalebi et al., 2019) نیز گزارش شده است. مقادیر بهینه pHبسترهای رشد برای جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در حدود ۶ است (Awang et al., 2009). بنابراین استفاده از بسترهای رشد مورد بررسی برای کشت، از نظر pH محدودیتی ایجاد نمی‌کند. با این حال گلخانه‌داران pH بسترهای رشد را در هنگام استفاده با تنظیم pH محلول غذایی کنترل می‌کنند.

مقادیر EC در بسترهای رشد در دامنه ۰/۲۱-۱/۴۳ dS/m متغیر بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر EC در بین بسترهای رشد به ترتیب مربوط به بسترهای Plm-V-RW و RW(0.2)-Perlite بود. برای بسترهای رشد مقدار EC بهینه در محدوده ۰/۴-۱/۵ dS/m گزارش شده است (Awang et al., 2009).

جدول ۳- مقایسه میانگین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی بین بسترهای رشد

Table 3- Means' comparisons of physical and chemical properties among the growth medium

بستر رشد Growth medium	ویژگی‌ها Properties									
	pH (-)		EC (dS m^{-1})		BD (Mg m^{-3})		PD (Mg m^{-3})		TP (%v/v)	
Cocopeat-Perlite	5.73	e	0.43	g	0.166	h	0.973	c	82.8	a
RW(0.1)-Perlite	6.45	b	0.28	j	0.163	h	0.464	j	64.8	j
RW(0.2)-Perlite	6.57	b	0.21	k	0.178	fg	0.576	i	69.0	hi
WS-V	6.93	a	0.70	d	0.183	f	0.900	de	79.6	b
Rh-PlmB300-V	6.54	b	0.53	f	0.196	de	0.759	gh	74.1	g
WSB500-Rh-V	6.48	b	0.44	g	0.168	gh	0.714	h	76.5	ef
Sd-SdB500-V-Z	6.58	b	0.33	i	0.333	b	1.156	b	71.2	h
Sd-PlmB300-V	6.37	bc	0.62	e	0.179	fg	0.848	ef	79.0	cd
PlmB300-WS-V	6.66	ab	0.82	b	0.181	f	0.724	h	75.0	fg
Plm-SdB500-V	6.58	b	0.75	c	0.188	ef	0.812	fg	76.8	def
Sd-SCB300-V-Z	6.95	a	0.32	ij	0.401	a	1.251	a	67.9	i
Plm-V-RW	6.47	b	1.43	a	0.235	c	1.298	a	81.8	ab
RW-Sd-V	6.07	dc	0.39	h	0.196	de	0.769	gh	74.4	fg
Plm-V-Cocopeat	5.85	de	0.79	b	0.204	d	0.921	cd	77.8	cde

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ است؛ EC: رسانایی الکتریکی، BD : چگالی ظاهری، PD: چگالی حقیقی، TP: تخلخل کل.

In each column, different letters indicate significant difference according to LSD test at the probability level of 0.05; EC: electrical conductivity, BD: bulk density, PD: particle density, TP: total porosity.

علت EC زیاد بستر Plm-V-RW نسبت به سایر بسترهای رشد مورد بررسی، احتمالاً کاربرد نسبت حجمی زیاد از خوشه خرما در این بستر است زیرا خوشه خرما از مناطقی با خاک نسبتاً شور نمونه‌برداری شد (جدول ۱). در این پژوهش، مقادیر EC همه‌ی بسترهای رشد مورد بررسی کم‌تر از 1/5 dS/m بوده (جدول ۳) که از لحاظ شوری برای استفاده از بسترها محدودیتی ایجاد نمی‌کند (Awang *et al.*, 2009).

مقادیر چگالی ظاهری (BD) بسترهای رشد مورد بررسی در دامنه Mg m^{-3} ۰/۴۰۱–۰/۱۶۳ متغیر بود. به طور کلی بیوچار ماده‌ی سبکی است و افزودن آن به بسترها باعث کاهش BD بسترها می‌شود (Banitalebi *et al.*, 2021; Banitalebi *et al.*, 2019; Brewer *et al.*, 2014). بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر BD در بین بسترهای رشد مورد بررسی به ترتیب مربوط به بسترهای Sd-SCB300-V-Z و RW(0.1)-Perlite بود (جدول ۳). وجود نسبت‌های حجمی زیاد از زئولیت و ورمی‌کولیت در بستر Sd-SCB300-V-Z باعث افزایش BD این بستر شده است. همچنین وجود مقدار زیاد (۹۰ درصد حجمی) پرلیت با وزن سبک در بستر RW(0.1)-Perlite باعث BD کم این بستر شده است. مقادیر BD بسترهای آلی در دامنه ۰/۰۵ تا Mg m^{-3} ۰/۳۰ گزارش شده است (Raviv *et al.*, 1999). بسیاری از تولیدکنندگان بسترهای رشد تمایل دارند بسترهایی با BD کم‌تر از Mg m^{-3} ۰/۳ تولید کنند (Cattivello, 2011). تمامی بسترهای رشد مورد بررسی به جز Sd-SCB300-V-Z و Sd-SdB500-V-Z دارای BD کم‌تر از Mg m^{-3} ۰/۳ بودند (جدول ۳). چگالی ظاهری کم بسترهای رشد گلخانه‌ای می‌تواند از تهویه ضعیف بستر در زمان آبیاری جلوگیری کند. علاوه بر این جابه‌جایی بسترهای رشد سبک آسان‌تر است. هرچند که مقادیر بسیار کم BD بستر رشد نیز مطلوب نبوده و نمی‌تواند حمایت مکانیکی لازم و مکان استقرار مناسبی برای گیاه فراهم کند.

مقادیر چگالی حقیقی (PD) بسترهای رشد مورد بررسی بین ۰/۴۶۴ تا Mg m^{-3} ۱/۲۹۸ متغیر بوده که به ترتیب مربوط به بسترهای RW(0.1)-Perlite و Plm-V-RW بود (جدول ۳). به طور کلی ترکیبات آلی سبک‌تر از ترکیبات معدنی‌اند (Banitalebi *et al.*, 2021; Banitalebi *et al.*, 2019). بیش‌ترین مقادیر PD مربوط به بسترهایی بود که نسبت حجمی زیادی از ترکیبات معدنی داشتند (جدول ۳) که با یافته‌های بنی‌طالبی و همکاران (Banitalebi *et al.*, 2021) هم‌خوانی دارد؛ آن‌ها بیش‌ترین مقادیر PD را برای بسترهایی با مقدار زیاد ورمیکولیت و زئولیت گزارش کردند.

مقادیر تخلخل کل (TP) بسترهای رشد مورد بررسی در دامنه ۶۴/۸–۸۲/۸ درصد حجمی متغیر بود. بیش‌ترین TP مربوط به بستر Cocopeat-Perlite بود. مقادیر TP اکثر بسترها از ۷۰ درصد حجمی بیش‌تر بوده (جدول ۳) که با نتایج بنی‌طالبی و همکاران (Banitalebi *et al.*, 2021) همخوانی دارد. در بررسی این پژوهشگران بیش‌ترین مقدار TP مربوط به بستر Cocopeat-Perlite و مقادیر TP اکثر بسترهای رشد از ۷۰ درصد حجمی بیش‌تر بود. در پژوهش بنی‌طالبی و همکاران (Banitalebi *et al.*, 2019) در مورد بسترهای منفرد، اکثر بسترهای معدنی نسبت به بسترهای آلی و بیوچارهای تولیدی از بقایای آلی مقادیر TP کم‌تری داشتند. در این پژوهش افزودن بیوچارهای تولیدشده به بسترهای معدنی سبب افزایش TP بسترهای رشد ترکیبی شده است (جدول ۳).

اثر دوره‌های تر و خشک‌شدن بر شاخص‌های نگهداشت آب و تهویه بسترهای رشد

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر بستر رشد، زمان (دوره‌های تر و خشک‌شدن) و برهمکنش آن‌ها بر شاخص‌های نگهداشت آب و تهویه در سطح آماری ۰/۰۱ معنی‌دار شد (جدول ۴، $p<0/01$). در جداول ۵ و ۶ مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی بر چهار شاخص EAW، AIR، WHC و WBC ارائه شده است. مقادیر میانگین EAW در بسترهای رشد مورد بررسی در دامنه ۰/۱۲۳ تا cm^3 cm^{-3} ۰/۲۷۲ متغیر بود. بیش‌ترین مقدار EAW مربوط به بستر Sd-SdB500-V-Z بوده در حالی که این بستر دارای گنجایش بافری آب (WBC) کمی بود (cm^3 cm^{-3} ۰/۰۳۸). کم‌ترین مقدار EAW مربوط به بستر RW(0.1)-Perlite بود که می‌توان آن را به تخلخل کم این بستر نسبت داد. به دلیل توزیع اندازه‌ی ذرات متفاوت بیوچار و سایر بسترهای منفرد مورد استفاده در تهیه بسترهای ترکیبی، ترکیب بیوچار با سایر مواد آثار متفاوتی بر ویژگی‌های فیزیکی بسترهای رشد می‌گذارد. ذرات با اندازه‌ی مختلف بر توزیع اندازه‌ی منافذ اثر گذاشته و بسته به مقدار رطوبت بر تعادل و فراهمی آب و هوای بسترهای رشد اثر می‌گذارد (Huang and Gu, 2019).

نتایج مقایسه میانگین اثر زمان و برهمکنش بستر رشد و زمان بر مقادیر EAW در جدول ۵ ارائه شده است. با گذشت زمان، میانگین شاخص EAW نسبت به پیش از اعمال دوره‌ها، تفاوت معنی‌دار داشت. به طور کلی دوره‌های تر و خشک‌شدن سبب افزایش معنی‌دار EAW در بسترهای رشد شده است که به تغییر توزیع اندازه‌ی ذرات و منافذ ارتباط داده می‌شود. افزایش در مقادیر EAW برای اکثر بسترهای رشد همراه با افزایش در مقدار گنجایش نگهداشت آب (WHC) آن‌ها بوده است (جداول ۵ و ۶).

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس اثر بستر رشد، زمان و اثر برهمکنش آن‌ها بر شاخص‌های نگهداشت آب و تهویه

Table 4- Results of analysis of variance for the effect of the growth medium, time, and their interaction on water retention and aeration indicators

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares			
		EAW	WHC	AIR	WBC
بستر رشد Growth medium	13	0.012**	0.028**	0.014**	0.0029**
تکرار (بستر رشد) Replication (Growth medium)	28	0.0001	0.0007	0.0001	0.00005
زمان Time	1	0.0019**	0.003**	0.03**	0.0016**
زمان × بستر رشد Time × Growth medium	13	0.0009**	0.0014**	0.0018**	0.0003**
خطا Error	28	0.00007	0.00013	0.00007	0.00001
ضریب تغییرات CV (%)	-	4.09	1.85	6.91	6.81

** بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ است؛ EAW: آب به آسانی قابل دسترس، WHC: گنجایش نگهداشت آب، AIR: گنجایش هوایی پس از آبیاری ، WBC: گنجایش بافری آب.

** stands for significant effect in the probability level of 0.01; EAW: easily available water, WHC: water holding capacity, AIR: air after irrigation, WBC: water buffering capacity.

پیش از اعمال دوره‌های تر و خشـــک‌شـــدن بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر EAW به ترتیب مربوط به بســترهای WS-V و Plm-V-Cocopeat بود. بســتر WS-V دارای بیش‌ترین مقدار WHC در بین بسترهای رشد پیش از اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن بود که علت آن می‌تواند منافذ ریز کاه گندم باشد. بستر Plm-V-Cocopeat دارای نســبت حجمی زیاد از خوشـــه خرما و کوکوپیت و مقدار کم‌تری ورمیکولیت در مقایسه با سایر بسترها بود. این مسئله باعث شده است که این بستر مقدار آب کم‌تری نسبت به سایر بسترها در دامنه مکش ماتریک ۵۰–۱۰ kPa از دســت بدهد. بیش‌ترین افزایش در مقادیر EAW پس از اعمال دوره‌های تر و خشک شدن مربوط به بسترهای Plm-V-Cocopeat و Plm-SdB500-V بود. این دو بستر شـامل مقدار زیادی خوشه خرما بوده و افزایش منافذ ریز خوشه خرما می‌تواند دلیل این یافته با شد. بیش‌ترین کاهش مقادیر EAW در اثر دوره‌های تر و خشـــک‌شـــدن مربوط به بســتر Cocopeat-Perlite بوده که با افزایش AIR همراه بود. احتمالاً کاهش منافذ ریز این بســتر ســبب کاهش مقدار EAW شده است. پایدارترین بستر رشد از نظر شاخص EAW، بستر رشد WSB500-Rh-V بود. پس از اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن بیش‌ترین مقدار EAW مربوط به بستر Sd-SdB500-V-Z بوده که همراه با بیش‌ترین کاهش مقدار AIR در این بســتر در بین بسترهای رشد بود. به طورکلی پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که زیادبودن مقدار EAW منجر به کاهش مقدار AIR می‌شـــود (Banitalebi *et al.*, 2021; Banitalebi *et al.*, 2019).

راویو و همکاران (Raviv *et al.*, 1999) بیان کردند، یک بســتر رشد بهینه باید EAW در دامنه $cm^3\ cm^{-3}$ ۰/۳۰–۰/۲۰ داشته باشد. از بین ۱۴ بستر مورد بررسی مقادیر میانگین EAW شش بستر رشد در این دامنه نبودند (جدول ۳). مقدار EAW بسترهای Sd-SdB500-V-Z، WS-V و Rh-PlmB300-V بیش‌تر از حد بهینه ($cm^3\ cm^{-3}$ ۰/۲۴) بود. مقدار EAW پنج بسـتر ترکیبی در دامنه‌ی ۰/۲۴–۰/۲۰ $cm^3\ cm^{-3}$ قرار داشـــت. مقدار EAW برای ســـه بســـتر از جمله کوکوپیت–پرلیت در دامنه‌ی $cm^3\ cm^{-3}$ ۰/۲۰–۰/۱۶ بود. اعمال دوره‌های تر و خشـــک‌شـــدن در اکثر بســترهای رشـد باعث افزایش EAW شـده اسـت (جدول ۵). با توجه به این موضـوع می‌توان بیان نمود که گذشـت زمان اثر مثبتی بر کمّیت EAW در اکثر بسـترهای رشد داشت که با افزایش فراوانی منافذ متوسط و ریز مرتبط است.

مقدار AIR به شـــمار زیادی از عوامل مانند اندازه‌ی ذرات تشکیل‌دهنده‌ی بستر رشد، اندازه گلدان و تعداد دفعات آبیاری وابسته اسـت. مقدار بهینه AIR برای یک بسـتر رشـد در دامنه $cm^3\ cm^{-3}$ ۰/۳۰–۰/۱۰ قرار دارد (Raviv *et al.*, 1999). مقادیر میانگین AIR برای بسترهای رشد مورد بررسی تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۵). مقادیر میانگین AIR پیش و پس از اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن برای بسترهای رشد مورد بررسی در دامنه $cm^3\ cm^{-3}$ ۰/۲۴۰–۰/۰۶۳ متغیر بود. بیش‌ترین مقدار این ویژگی در بســـتر Sd-PlmB300-V مشـاهده شـد. کاربرد ۴۰ درصـد حجمی ورمیکولیت با بیوچار خوشـه خرما دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس به دلیل اندازه ذرات درشت‌تر می‌تواند دلیلی بر تهویه بهتر این بســـتر باشـــد. به نظر می‌رسـد بهبود تهویه می‌تواند در اثر افزایش فراوانی منافذ درشـت ناشـی از وجود ترکیبی با ذرات درشت‌تر (ورمی‌کولیت) باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر بستر رشد، زمان و برهمکنش آن‌ها بر شاخص‌های نگهداشت آب و تهویه (EAW و AIR)

Table 5- Means' comparisons of the effect of the growth medium, time, and their interaction on water retention and aeration indicators (EAW and AIR)

بستر رشد Growth medium	EAW (cm^3 cm^{-3})						AIR (cm^3 cm^{-3})					
	Before-D/W		After-D/W		میانگین Average		Before-D/W		After-D/W		میانگین Average	
Cocopeat-Perlite	0.186	kl	0.154	op	0.170	G	0.139	de	0.198	b	0.168	BC
RW(0.1)-Perlite	0.129	q	0.117	qr	0.123	I	0.089	jk	0.095	ij	0.092	E
RW(0.2)-Perlite	0.147	p	0.164	no	0.155	H	0.081	klm	0.086	j/m	0.083	E
WS-V	0.259	b	0.237	def	0.248	B	0.049	n	0.077	klm	0.063	E
Rh-PlmB300-V	0.249	bcd	0.232	efg	0.240	B	0.074	lm	0.105	hi	0.089	E
WSB500-Rh-V	0.224	gh	0.225	fg	0.225	CD	0.155	c	0.203	b	0.179	B
Sd-SdB500-V-Z	0.252	bc	0.292	a	0.272	A	0.113	gh	0.055	n	0.084	E
Sd-PlmB300-V	0.153	op	0.180	lm	0.167	GH	0.205	b	0.275	a	0.240	A
PlmB300-WS-V	0.197	jk	0.221	gh	0.209	E	0.082	j/m	0.133	fe	0.108	D
Plm-SdB500-V	0.170	mn	0.204	ij	0.187	F	0.086	jkl	0.137	de	0.112	D
Sd-SCB300-V-Z	0.199	ijk	0.212	hi	0.205	E	0.090	jk	0.142	cde	0.116	D
Plm-V-RW	0.244	cde	0.230	fg	0.237	BC	0.072	m	0.118	gh	0.095	E
RW-Sd-V	0.196	jk	0.230	fg	0.213	DE	0.122	fg	0.199	b	0.160	C
Plm-V-Cocopeat	0.114	r	0.157	nop	0.136	I	0.088	jk	0.151	cd	0.120	D
اثر زمان The effect of time	0.194	B	0.204	A	–	–	0.103	B	0.141	A	–	–

حروف کوچک متفاوت برای هر شاخص بیانگر تفاوت آماری اثر برهمکنش تیمارها، حروف بزرگ متفاوت در ستون میانگین نشان‌دهنده‌ی تفاوت معنی‌دار بین بسترهای رشد، و حروف بزرگ متفاوت در ردیف آخر برای هر شاخص نشان‌دهنده‌ی تفاوت معنی‌دار بین دو زمان پیش (Before-D/W) و پس (After-D/W) از دوره‌های تر و خشک شدن بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ است؛ EAW و AIR به ترتیب بیانگر آب به آسانی قابل دسترس و مقدار گنجایش هوایی پس از آبیاری است.

Different lowercase letters for each indicator show the statistical difference for the interaction effect of the treatments, and different uppercase letters in the mean column indicate a significant difference between the growth media. Different uppercase letters in the last row for each indicator show the significant difference between the two times before (Before-D/W) and after (After-D/W) wetting and drying cycles based on the LSD test at the probability level of 0.05; EAW and AIR represent easily available water and air after irrigation, respectively.

بستر رشد WS-V دارای کم‌ترین مقدار AIR در بین بسترهای رشد بود که علت آن می‌تواند منافذ ریز کاه گندم در این بستر باشد؛ این یافته با نتایج بنی‌طالبی و همکاران همخوانی دارد (Banitalebi *et al.*, 2021).

به طورکلی افزایش مقدار EAW منجر به کاهش مقدار AIR می‌شود. برای نمونه بستر WS-V دارای تهویه کم (۰/۰۶۳ cm^3 cm^{-3}) و EAW زیادی (۰/۲۴۸ cm^3 cm^{-3}) بود در حالی که برای ترکیب Sd-PlmB300-V عکس این گفته درست است یعنی این بستر دارای تهویه بهتری بود (جدول ۵) که این نتیجه با یافته های بنی طالبی و همکاران همخوانی دارد (Banitalebi *et al.*, 2021).

تخلخل زیاد یک بستر می‌تواند بر مقدار تهویه آن نیز اثرگذار (افزاینده) باشد (Kim *et al.*, 2017). در تمامی بسترها (به جزء بستر Sd-SdB500-V-Z) با اعمال دوره‌های تر و خشک شدن و گذشت زمان مقدار کمّیت AIR از روند افزایشی برخوردار بود که این تغییر معنی‌دار نیز بود (جدول ۵). این یافته با نتایج باکری و همکاران همخوانی دارد (Bakry *et al.*, 2013). بیش‌ترین افزایش در مقادیر AIR در بین بسترهای رشد پس از اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن مربوط به بسترهای Plm-V-Cocopeat، Plm-V-RW و RW-Sd-V بود. این بسترها دارای مقدار زیادی خوشه خرما و پشم سنگ بودند. مقدار AIR تنها در بستر Sd-SdB500-V-Z پس از اعمال دوره‌های تر و

خشک‌شدن کاهش یافت که حاکی از افزایش شدید فراوانی منافذ ریز بوده و بر تهویه آن نیز تاثیر داشته است.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر بستر رشد، زمان و برهمکنش آن‌ها بر شاخص‌های نگهداشت آب (WBC و WHC)

Table 6- Means' comparisons of the effect of the growth medium, time, and their interaction on water retention indicators (WHC and WBC)

بستر رشد Growth medium	WHC (cm^3 cm^{-3}) Before-D/W		After-D/W		میانگین Average		WBC (cm^3 cm^{-3}) Before-D/W		After-D/W		میانگین Average	
Cocopeat-Perlite	0.620	fgh	0.603	hi	0.612	DE	0.033	lm	0.053	hi	0.043	FG
RW(0.1)-Perlite	0.450	o	0.455	o	0.453	I	0.053	hi	0.040	jk	0.046	FE
RW(0.2)-Perlite	0.503	n	0.520	mn	0.511	H	0.123	a	0.101	b	0.112	A
WS-V	0.686	b	0.711	a	0.699	A	0.044	j	0.064	f	0.054	DE
Rh-PlmB300-V	0.617	ghi	0.657	cd	0.637	CD	0.066	ef	0.058	gh	0.062	CD
WSB500-Rh-V	0.610	hi	0.575	j	0.592	FE	0.056	hi	0.057	gh	0.056	D
Sd-SdB500-V-Z	0.599	i	0.682	b	0.641	CD	0.032	lmn	0.044	j	0.038	FG
Sd-PlmB300-V	0.562	jk	0.573	j	0.568	FG	0.021	o	0.033	lm	0.027	H
PlmB300-WS-V	0.656	cd	0.640	de	0.648	BC	0.051	i	0.074	d	0.062	CD
Plm-SdB500-V	0.648	de	0.672	bc	0.660	BC	0.063	fg	0.067	ef	0.065	C
Sd-SCB300-V-Z	0.551	kl	0.535	lm	0.543	G	0.030	mn	0.041	jk	0.035	GH
Plm-V-RW	0.670	bc	0.677	b	0.673	AB	0.072	de	0.092	c	0.082	B
RW-Sd-V	0.632	efg	0.629	efg	0.631	CD	0.026	no	0.052	hi	0.039	FG
Plm-V-Cocopeat	0.638	def	0.683	b	0.661	BC	0.038	kl	0.052	hi	0.045	F
اثر زمان The effect of time	0.603	B	0.615	A	–	–	0.051	B	0.059	A	–	–

حروف کوچک متفاوت برای هر شاخص بیانگر تفاوت آماری اثر برهمکنش تیمارها، حروف بزرگ متفاوت در ستون میانگین نشان‌دهنده‌ی تفاوت معنی‌دار بین بسترهای رشد، و حروف بزرگ متفاوت در ردیف آخر برای هر شاخص نشان‌دهنده‌ی تفاوت معنی‌دار بین دو زمان پیش (Before-D/W) و پس (After-D/W) از دوره‌های تر و خشک شدن بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ است؛ WHC و WBC به ترتیب بیانگر گنجایش نگهداشت آب و گنجایش بافری آب است.

Different lowercase letters for each indicator show the statistical difference for the interaction effect of the treatments, and different uppercase letters in the mean column indicate a significant difference between the growth media. Different uppercase letters in the last row for each indicator show the significant difference between the two times before (Before-D/W) and after (After-D/W) wetting and drying cycles based on the LSD test at the probability level of 0.05; WHC and WBC represent water holding capacity and water buffering capacity, respectively.

گنجایش نگهداشت آب (WHC) یک شاخص فیزیکی مهم بسترهای رشد است. مقدار این ویژگی بسته به نوع و اندازه ذرات تشکیل‌دهنده‌ی بستر رشد تغییر می‌کند (Banitalebi *et al.*, 2019). مقادیر WHC بسترهای رشد دارای تفاوت معنی‌دار بودند (جدول ۶). دامنه‌ی تغییرات این ویژگی پیش و پس از اعمال دوره های تر و خشک شدن ۰/۴۵۳-۰/۶۹۹ cm^3 cm^{-3} بود. در بین بسترهای مورد بررسی بیش‌ترین مقدار WHC متعلق به بستر WS-V بوده که با نتایج بنی طالبی و هم کاران همخوانی دارد (Banitalebi *et al.*, 2021). علت این یافته نگهداشت آب زیاد کاه گندم و ورمیکولیت است (Banitalebi *et al.*, 2019). کم‌ترین مقدار WHC متعلق به بستر RW(0.1)-Perlite بوده (جدول ۶) که علت آن را می‌توان به تخلخل کم این بستر نسبت داد. تفاوت در مقادیر WHC بین بسترهای رشد می‌تواند ناشی از متفاوت‌بودن تخلخل کل و توزیع اندازه منافذ آن‌ها باشد (Bunt, 1988). بسترهای رشد تولید شده بر پایه بیوچار مقادیر WHC نسبتاً زیادی داشتند. پژوهشگران دیگر نیز افزایش WHC در اثر افزودن بیوچار به سایر بسترهای رشد را گزارش کردند (Banitalebi *et al.*, 2021; Mendez *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2014). شاخص WHC یک ویژگی فیزیکی مهم بسترهای رشد گلخانه‌ای بوده و تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند نوع و اندازه ذرات بسترهای مورد استفاده، دمای تولید بیوچار و درصد بیوچار به کار رفته است. در بحث بررسی کیفیت بیوچار چندین ویژگی آن از جمله WHC، BD، pH، سطح ویژه و حجم منافذ باید مورد توجه قرار گیرد (Sohi *et al.*, 2009).

مقایسه مقادیر WHC حاکی از آن است که اغلب بسترهای ترکیبی مورد بررسی دارای WHC بیش‌تری در مقایسه با کوکوپیت-پرلیت بودند، هر چند که این اختلاف اندک اما معنی‌دار بود (جدول ۶). با گذشت زمان و اعمال دوره‌های تر و خشک شدن مقادیر WHC به طور معنی‌داری در اکثر بسترها افزایش یافت (جدول ۶) که با نتایج کرلوچ و میشل (Kerloch and Michel, 2015) همخوانی داشت. آن ها افزایش نگهداشت آب در مکش ماتریک ۱ kPa را برای بسترهای رشد بر پایه پیت گزارش کردند. با توجه به این نتیجه می‌توان بیان کرد دوره‌های تر و خشک‌شدن اثر مثبتی بر کمّیت WHC بسترهای رشد مورد بررسی داشته است. این افزایش به علت تاثیر دوره‌های تر و خشک‌شدن بر توزیع اندازه منافذ و اندازه ذرات،

تجزیه مواد آلی و تغییر آرایش ذرات می‌تواند باشد. بنابراین دوره‌های تر و خشک‌شدن باعث ریزتر شدن منافذ و افزایش نگهداشت آب بستر شده‌اند.

بیش‌ترین افزایش در مقدار WHC مربوط به بستر Sd-SdB500-V-Z بود که به افزایش فراوانی منافذ ریز مرتبط است. کاهش مقدار AIR (جدول ۵) این بستر پس از اعمال دوره‌های تر و خشک شدن این یافته را تایید می‌کند. مقادیر WHC پنج بستر رشد از جمله کوکوپیت-پرلیت در اثر اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن کاهش یافت (جدول ۶). پایدارترین بستر پس از اعمال دوره‌ها بستر RW-Sd-V بود. وجود مقدار زیادی از اجزای معدنی (پشم‌سنگ و ورمی‌کولیت) می‌تواند دلیل مهم پایداری این بستر باشد.

کاهش مقدار گنجایش بافری آب (WBC) یک بستر می‌تواند منجر به کاهش سریع نگهداشت آب و در نتیجه هدایت هیدرولیکی غیراشباع با افزایش مکش ماتریک گردد (Raviv and Lieth, 2008). با توجه به نتایج به دست آمده (جدول ۶)، اکثر بسترهای رشد دارای مقادیر WBC در حد بهینه (۰/۰۴-۰/۱۰ cm^3 cm^{-3}) پیش و پس از اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن بودند (Raviv *et al.*, 1999). بستر RW(0.2)-Perlite دارای مقدار WBC بیش‌تر از حد بهینه و بسترهای Sd-PlmB300-V، Sd-SdB500-V-Z، Sd-SCB300-V-Z و RW-Sd-V که همگی دارای مقدار زیادی خاک اره بودند، مقادیر WBC کم‌تر از ۰/۰۴ cm^3 cm^{-3} داشتند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر WBC در بین بسترهای رشد به ترتیب مربوط به بسترهای RW(0.2)-Perlite و Sd-PlmB300-V بود (جدول ۶) که با نتایج بنی‌طالبی و همکاران (Banitalebi *et al.*, 2021) هم‌خوانی دارد. اثر زمان بر کمّیت WBC مثبت بود به طوری که با اعمال دوره‌های تر و خشک شدن مقادیر WBC اکثر بسترهای مورد بررسی به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۶). همان طور که پیش از این بیان شد، دوره های تر و خشک‌شدن باعث تغییر در توزیع اندازه ذرات و منافذ و در نتیجه تغییر در WBC می شود. در اثر اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن، بیش‌ترین افزایش در مقدار WBC مربوط به بستر RW-Sd-V بود (جدول ۶). مقدار WBC این بستر پیش از اعمال دوره‌های تر و خشک شدن کم‌تر از حد بهینه بود (۰/۰۲۶ cm^3 cm^{-3}) اما پس از اعمال دوره‌ها به حد مطلوب رسید (۰/۰۵۲ cm^3 cm^{-3}). این نتیجه در چهار بستر دیگر نیز مشاهده شد (جدول ۶). بستر RW(0.2)-Perlite که در ابتدا دارای WBC بیش‌تر از حد بهینه بود، پس از اعمال دوره‌ها به حد بهینه رسید (۰/۱۰۱ cm^3 cm^{-3}). بنابراین اثر مثبت دوره‌های تر و خشک شدن بر کمّیت WBC به وضوح قابل مشاهده است. پایدارترین بستر از نظر کمّیت WBC با گذشت زمان بستر WSB500-Rh-V بود. علت آن را می‌توان به وجود ورمیکولیت و پوسته شلتوک برنج با نسبت حجمی زیاد و پایداری این مواد در این بستر ترکیبی مرتبط دانست.

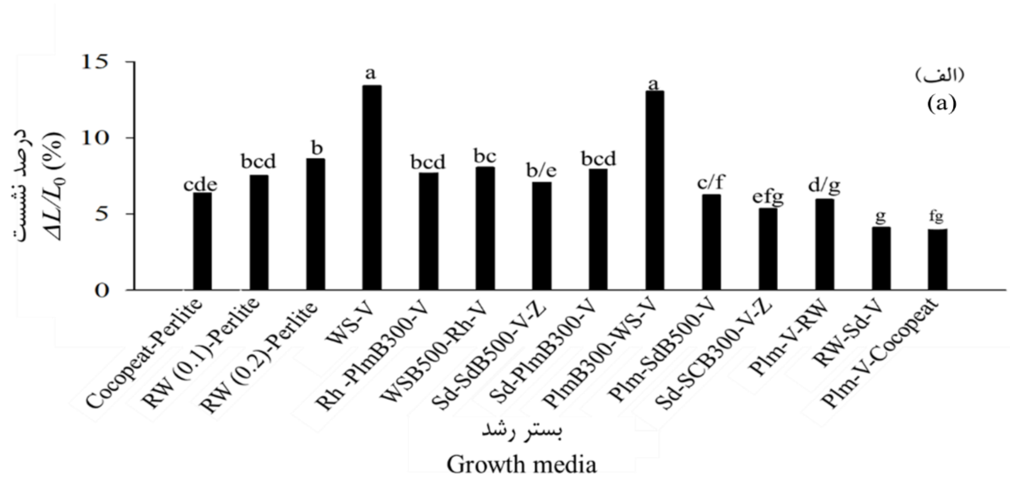
اثر دوره‌های تر و خشک شدن بر تجزیه و میزان نشست بسترهای رشد

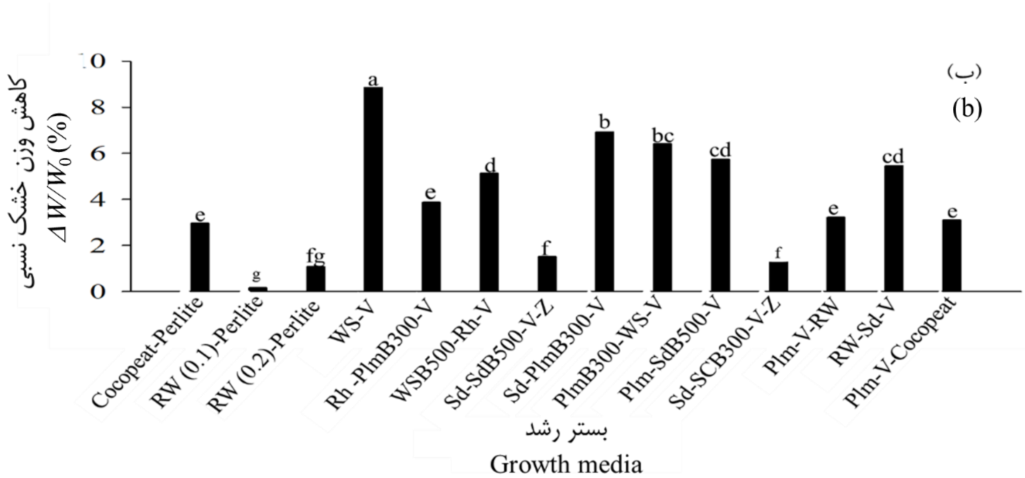
اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن منجر به تجزیه مواد آلی در بسترهای رشد و نشست آن‌ها شد. در صد نشست (%$\Delta L/L_0$) در بسترهای رشد بیانگر کاهش نسبی ارتفاع آن‌ها است. کاهش وزن خشک نسبی (%$\Delta W/W_0$) بسترها با گذشت زمان بیانگر کاهش وزن بخش جامد بسترها بوده که عمدتاً به دلیل تجزیه مواد آلی است. مقادیر درصد کاهش ارتفاع نمونه و تغییرات وزن خشک نسبی بسترهای رشد پس از اعمال دوره‌ها در شکل ۱ ارائه شده است.

در تمامی بسترها پس از اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن، نشست و کاهش وزن خشک مشاهده شد. این تغییرات برای بسترهایی که دارای نسبت حجمی زیاد از مواد معدنی بودند ناچیز بود (شکل ۱). کم‌ترین تغییر در بین بسترهای رشد از نظر تجزیه (کاهش وزن خشک) مربوط به بستر کاملاً معدنی RW(0.1)-Perlite بود (۰/۱۷٪). پایدارترین بستر از نظر نشست پس از اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن بستر RW-Sd-V بوده که دارای نسبت حجمی زیادی از مواد معدنی است. بیش‌ترین نشست در بسترهای حاوی کاه گندم مشاهده شد (WS-V و PlmB300-WS-V). نشست و یا تغییر مقدار ماده آلی بسترهای رشد در اثر اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن می‌تواند توجیهی برای تغییر توزیع اندازه منافذ بسترهای رشد و واکنش آنها در برابر تر و خشک‌شدن باشد. بنابراین معدنی‌شدن و تجزیه مواد آلی سبب از دست رفتن بخشی از ماده خشک و نشست بسترها شده است. تجزیه مواد آلی و رسوب و خردشدن ذرات با اندازه‌های مختلف می‌تواند باعث افزایش بیش‌تر منافذ ریز در مقایسه با منافذ درشت شود. این نتیجه با یافته‌های میشل و کرلوچ (Michel and Kerloch, 2017)، آلایر و همکاران (Allaire-Leung *et al.*, 1999)، تیورنن و همکاران (Turunen *et al.*, 2019) و کاناوو و همکاران (Cannavo *et al.*, 2011) هم‌خوانی دارد. این پژوهشگران نیز نشست در بسترهای رشد و افزایش فراوانی منافذ ریز با گذشت زمان را گزارش کردند.

تغییرات درصد ماده آلی بسترهای رشد در اثر اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارها بر درصد ماده آلی (OM) در شکل ۲ ارائه شده است. مقادیر OM بسترهای رشد تفاوت معنی‌دار داشتند (p<۰/۰۵). بیش‌ترین مقادیر OM در بین بسترهای رشد مورد بررسی به ترتیب مربوط به بسترهای Plm-V-Cocopeat و Cocopeat-Perlite بود که وجود نسبت حجمی زیاد از کوکوپیت و خوشه خرما در این بسترها می‌تواند دلیل این یافته باشد.





شکل ۱- مقایسه میانگین (الف) درصد نشست ($\Delta L/L_0$، %) و (ب) درصد تغییرات وزن خشک ($\Delta W/W_0$، %) بسترهای رشد در اثر اعمال دوره های تر و خشک‌شدن

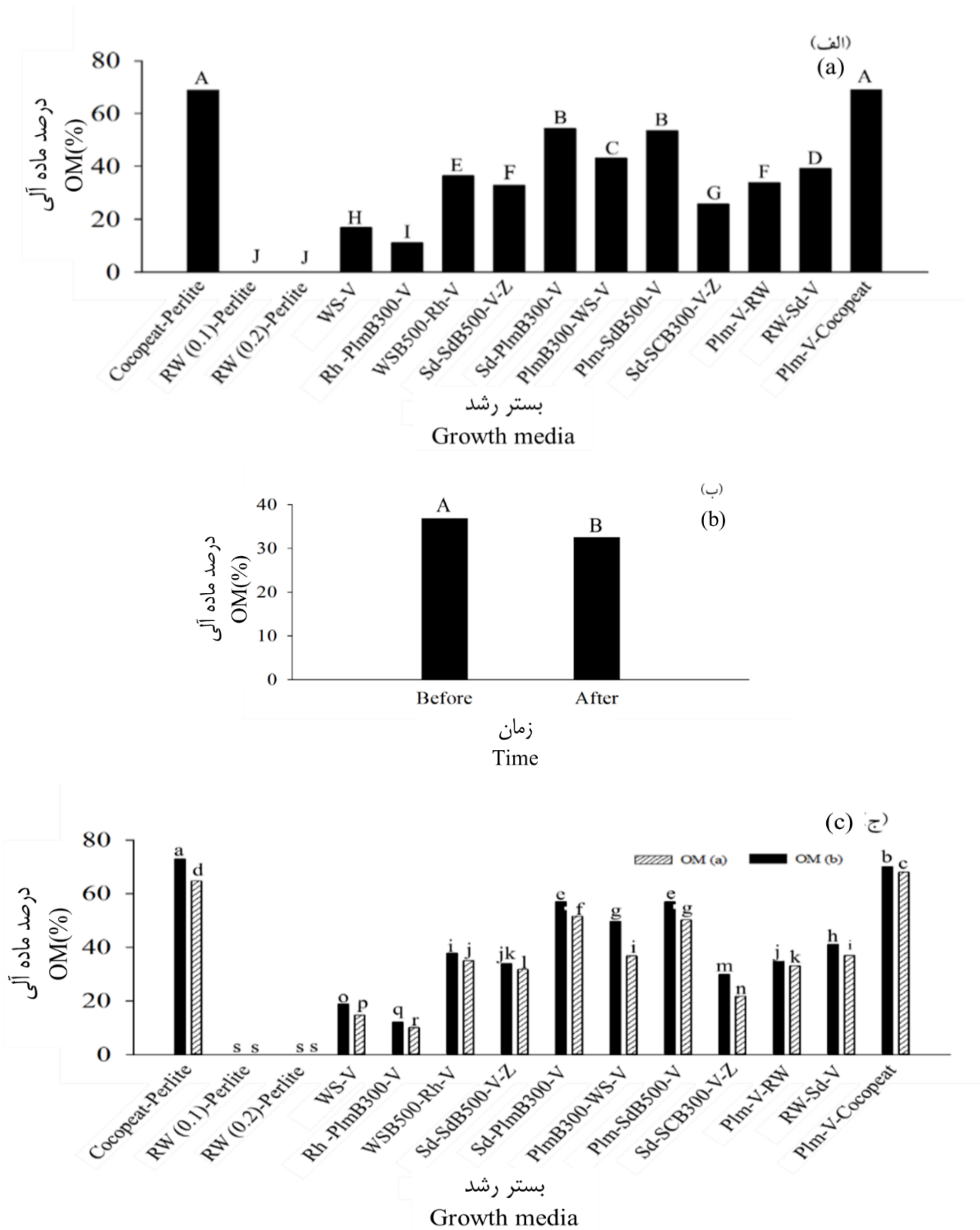
حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۵است.

Figure 1- Means' comparisons of (a) subsidence percentage ($\Delta L/L_0$, %) and (b) percentage of changes in dry weight ($\Delta W/W_0$, %) of growth media due to the application of wetting and drying periods

Different letters indicate significant difference according to LSD test at the probability level of 0.05.

این نتیجه با یافته‌های بنی‌طالبی و همکاران (Banitalebi *et al.*, 2021) هم‌خوانی دارد که مقدار OM بستر کوکوپیت-پرلیت را ز یاد گزارش داد ند. بستر های RW(0.1)-Perlite و RW(0.2)-Perlite کاملاً م عدنی بود ند. پس از این دو بستر، بستر Rh-PlmB300-V کم‌ترین درصد OM را داشت چرا که حاوی ۸۰ درصد حجمی ورمیکولیت بود. نتایج مقایسه میانگین اثر زمان و برهمکنش بستر رشد و زمان بر درصد OM در شکل‌های ۲-ب و ۲-ج ارائه شده است. مقادیر ماده آلی تمام بسترهای رشد (به جز دو بستر RW(0.1)-Perlite و RW(0.2)-Perlite که کاملاً معدنی بوده و دارای ماده آلی نبودند)، با گذشت زمان (اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن) به طور معنی‌داری کاهش یافت (p<۰/۰۵).

کاهش مقدار ماده آلی در این بسترها می‌تواند به دلیل تجزیه مواد آلی با گذ شت زمان و در اثر دوره‌های تر و خ شک شدن با شد. کاهش درصد ماده آلی برای بسترهای حاوی خاک اره و کاه گندم شدیدتر بود در حالی که در بسترهای حاوی خوشه خرما این کاهش کم‌تر بود. بسترهای حاوی کاه گندم بیش‌ترین نشست و کاهش وزن را نیز داشتند (شکل ۱). در تفسیر این نتایج می‌توان گفت چوب خوشه خرما غنی از فیبر و لیگنین و مقاوم به تجزیه میکروبی بوده و هنگامی که از آن در ب سترهای ر شد بدون خاک ا ستفاده می شود در برابر تجزیه مقاوم است.



شکل ۲- مقایسه میانگین (الف) اثر نوع بستر رشد، (ب) اثر زمان (دوره‌های تر و خشک‌شدن) و (ج) اثر برهمکنش بستر رشد و زمان بر درصد ماده آلی (OM)

حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ است؛ حروف b و a در راهنمای شکل (ج) به ترتیب بیانگر زمان پیش و پس از دوره‌های تر و خشک‌شدن است.

Figure 2- Means' comparisons of (a) the effect of growth medium, (b) the effect of time (wetting and drying cycles), and (c) the interaction effect of the growth medium and time on the percentage of organic matter (OM)

Different letters indicate significant difference based on the LSD test at the probability level of 0.05; The letters b and a in the legend of graph (c) indicate the time before and after the wetting and drying cycles, respectively.

نتیجه‌گیری

۱) بسترهای رشد مورد بررسی از ترکیبات و ضایعات تولیدی در کشور و بیوچار آن‌ها و مواد معدنی رایج در کشت‌های گلخانه‌ای ساخته شد. ویژگی‌های pH و EC بسترهای رشد مورد بررسی محدودیتی برای استفاده از آن‌ها در کشت‌های گلخانه‌ای ایجاد نمی‌کنند. ویژگی‌های فیزیکی اکثر بسترهای رشد در دامنه مطلوب قرار داشت. مقادیر BD، TP، EAW و WHC در اکثر بسترهای رشد در دامنه‌های مطلوب بود و حتی در برخی موارد از بستر کوکوپیت-پرلیت (به عنوان شاهد) بهتر بودند. اکثر بسترهای رشد مورد بررسی با مقادیر زیاد EAW و WHC و مقادیر کم BD و EC در کشت‌های گلخانه‌ای قابل استفاده خواهند بود. بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از این بسترهای رشد می‌تواند جایگزین مناسبی برای بستر رایج کوکوپیت-پرلیت باشد.

۲) اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن بر بسترهای رشد سبب تغییر قابل توجه ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها شد. از دلایل این تغییرات به تجزیه مواد آلی، به‌هم‌خوردگی و تغییر آرایش ذرات، خرد شدن ذرات، انقباض، سخت شدن و نشست آن‌ها می‌توان اشاره کرد. به طور کلی نتایج نشان داد اعمال دوره‌های تر و خشک شدن بر بسترهای رشد سبب افزایش فراوانی منافذ ریز شد. این دوره ها اثر مثبتی بر شاخص‌های EAW، WHC و AIR اکثر بسترهای رشد داشت. افزایش این شاخص‌ها ممکن است مزیتی برای این بسترهای رشد باشد. پس از اعمال دوره‌های تر و خشک‌شدن مقادیر WBC بسترهایی که در دامنه‌ی بهینه نبودند، به دامنه‌ی مطلوب رسیدند. این یافته بیانگر بهبود بسترهای رشد با گذشت زمان (دوره‌های تر و خشک‌شدن) بر اساس متغیرهای مقداری مذکور بود. در مقایسه با بستر رایج کوکوپیت-پرلیت، اکثر بسترهای رشد مورد بررسی دارای پایداری خوبی بودند. بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از این بسترهای رشد می‌تواند جایگزین مناسبی برای بستر رایج کوکوپیت-پرلیت باشد.

۳) پیشنهاد می شود اثر دوره‌های تر و خشک شدن بر متغیرهای شدتی مانند هدایت هیدرولیکی، پخ شیدگی اکسیژن و اعوجاج منافذ بسترهای رشد بررسی گردد تا بتوان ارزیابی جامعی در این مورد ارائه نمود چرا که شاخص‌های مقداری (مانند نگهداشت آب و تخلخل تهویه‌ای) به تنهایی قادر به بیان وضعیت فیزیکی بسترهای رشد نبوده و توجه به شاخص‌های شدتی (مانند هدایت هیدرولیکی، پخ شیدگی اکسیژن و اعوجاج منافذ) نیز ضروری است. همچنین به منظور بررسی پایداری بسترهای رشد در حضور ریشه گیاه با گذشت زمان، پیشنهاد می‌شود عملکرد و کیفیت محصول گیاه در بسترهای رشد در چند دوره کاشت مورد ارزیابی قرار گیرد.

۴) پیشنهاد می‌شود استفاده از ترکیبات و ضایعات تولیدی در کشور و بیوچار آن‌ها به عنوان اصلاح‌کننده‌های خاک[1] در خاک‌های طبیعی مورد توجه قرار گرفته و پایداری تاثیر آن ها بر روابط آب و خاک و گیاه در پژوهش‌های آینده مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

1- Abad, M., Noguera, P., Puchades, R., Maquieira, A., & Noguera, V. (2002). Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource Technology* 82: 241-245. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00189-4.

2- Abrishamkesh, S., Gorji, M., Asadi, H., Bagheri-Marandi, G.H., & Pourbabaee, A.A. (2015). Effects of rice husk biochar application on the properties of alkaline soil and lentil growth. *Plant, Soil and Environment* 61: 475-482. https://doi.org/10.17221/117/2015-PSE.

3- Allaire-Leung, S., Caron, J., & Parent, L. (1999). Changes in physical properties of peat substrates during plant growth. *Canadian Journal of Soil Science* 79: 137-139. https://doi.org/10.4141/S98-060.

4- Awang, Y., Shazmi Shahron, A., Rosli, B.M., & Selamat, A. (2009). Chemical and physical characteristics of cocopeat-based media mixtures and their effects on the growth and development of *Celosia cristata*. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 4: 63-71. https://doi.org/10.3844/ajabssp.2009.63.71.

5- Bakry, M., Lamhamedi, M.S., Caron, J., Bernier, P.Y., El Abidine, A.Z., Stowe, D.C., & Margolis, H.A. (2013). Changes in the physical properties of two Acacia compost-based growing media and their effects on carob (*Ceratonia siliqua L.*) seedling development. *New Forests* 44: 827-847. https://doi.org/10.1007/s11056-013-9368-6.

6- Banitalebi, G., Mosaddeghi, M.R., & Shariatmadari, H. (2019). Feasibility of agricultural residues and their biochars for plant growing media: Physical and hydraulic properties. *Waste Management* 87: 577-589. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.034.

7- Banitalebi, G., Mosaddeghi, M.R., & Shariatmadari, H. (2021). Evaluation of physico-chemical properties of biochar-based mixtures for soilless growth media. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 23: 950-964. https://doi.org/10.1007/s10163-021-01181-z.

1- Soil conditioners

8- Brewer, C.E., Chuang, V.J., Masiello, C.A., Gonnermann, H., Gao, X., Dugan, B., Driver, L.E., Panzacchi, P., Zygourakis, K., & Davies, C.A. (2014). New approaches to measuring biochar density and porosity. *Biomass and Bioenergy* 66: 176-185. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.059.

9- Brückner, U. (1996). Physical properties of different potting media and substrate mixtures-especially air-and water capacity. *Acta Horticulturae* 450: 263–270. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.450.31.

10- Bunt, A.C. (1988). *Media and Mixes for Container-Grown Plants*. 2nd Ed. Unwin Hymnan Ltd., London, Springer, London.

11- Bures, S., Pokorny, F.A., & Ware, G.O. (1993). Estimating shrinkage of container media mixtures with linear and/or regression models. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 24: 315-323. https://doi.org/10.1080/00103629309368801.

12- Cannavo, P., Hafdhi, H., & Michel, J. (2011). Impact of root growth on the physical properties of peat substrate under a constant water regimen. *HortScience* 46: 1394-1399. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.10.1394.

13- Caron, J., Morel, P., Rivière, L.M., & Guillemain, G. (2010). Identifying appropriate methodology to diagnose aeration limitations with large peat and bark particles in growing media. *Canadian Journal of Soil Science* 90: 481-494. http://doi.org/10.4141/CJSS09015.

14- Cattivello, C. (2011). Factors affecting the swelling capacity of peat-based substrates. *Acta Horticulturae* 1013: 123–130. http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1013.13.

15- De Boodt, M., & Verdonck, O. (1972). The physical properties of the substrates used in horticulture. *Acta Horticulturae* 26: 37–44. http://doi.org/10.17660/ActaHortic.1972.26.5.

16- Deepagoda, T.C., Chen Lopez, J.C., Møldrup, P., De Jonge, L.W., & Tuller, M. (2013). Integral parameters for characterizing water, energy, and aeration properties of soilless plant growth media. *Journal of Hydrology* 502: 120-127. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.08.031.

17- Gupta, M., Yang, J., & Roy, C. (2002). Density of softwood bark and softwood char: procedural calibration and measurement by water soaking and kerosene immersion method. *Fuel* 81: 1379-1384. https://doi.org/10.1016/S0016-2361(02)00043-1.

18- Huang, L., & Gu, M. (2019). Effects of biochar on container substrate properties and growth of plants—A review. *Horticulturae* 5: 1-14. https://doi.org/10.3390/horticulturae5010014.

19- Kerloch, E., & Michel, J.C. (2015). Pore tortuosity and wettability as main characteristics of the evolution of hydraulic properties of organic growing media during cultivation. *Vadose Zone Journal* 14: 1-7. http://doi.org/10.2136/v14.11.0162.

20- Kim, H.S., Kim, K.R., Yang, J.E., Ok, Y.S., Kim, W.I., Kunhikrishnan, A., & Kim, K.H. (2017). Amelioration of horticultural growing media properties through rice hull biochar incorporation. *Waste and Biomass Valorization* 8: 483-492. https://doi.org/10.1007/s12649-016-9588-z.

21- Massa, D., Bonetti, A., Cacini, S., Faraloni, C., Prisa, D., Tuccio, L., & Petruccelli, R. (2019). Soilless tomato grown under nutritional stress increases green biomass but not yield or quality in presence of biochar as growing medium. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 60: 871-881. https://doi.org/10.1007/s13580-019-00169-x.

22- Méndez, A., Cárdenas-Aguiar, E., Paz-Ferreiro, J., Plaza, C., & Gascó, G. (2017). The effect of sewage sludge biochar on peat-based growing media. *Biological Agriculture & Horticulture* 33: 40-51. https://doi.org/10.1080/01448765.2016.1185645.

23- Michel, J.C., Kerloch, E., Bozon, E., & Cannavo, P. (2011). Consequences of root development on the evolution of hydraulic properties of peat growing media under a constant and optimal water regime. *Acta Horticulturae* 1013: 159–165. http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1013.18.

24- Michel, J.C., & Kerloch, E. (2017). Evolution of hydraulic properties and wettability of organic growing media during cultivation according to irrigation strategies. *Scientia Horticulturae* 217: 28-35. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.023.

25- Nash, V.E., & Laiche, A.J. (1981). Changes in the characteristics of potting media with time. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 12: 1011-1020. https://doi.org/10.1080/00103628109367213.

26- Nemati, M.R., Simard, F., Fortin, J.P., & Beaudoin, J. (2015). Potential use of biochar in growing media. *Vadose Zone Journal* 14: 1-8. http://doi.org/10.2136/vzj2014.06.0074.

27- Raviv, M., Wallach, R., Silber, A., Medina, Sh., & Krasnovsky, A. (1999). The effect of hydraulic characteristics of volcanic materials on yield of roses grown in soiless culture. *Journal of the American Society for Horticultural Science 124*: 205-209. https://doi.org/10.21273/JASHS.124.2.205.

28- Raviv, M., & Lieth J.H. (2008). *Significance of soilless culture in agriculture*. pp. 1–11. In: Soilless Culture: Theory and Practice. Raviv, M., & Lieth, J.H. (Eds.). Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

29- Safadoust, A., Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, A.A., & Yousefi, G. (2012). Effects of wetting/drying, freezing/thawing and earth worm activities on soil hydraulic properties. *Journal of Water and Soil* 26: 340-348. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.14160.

30- Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E., & Bol, R. (2009). Biochar, climate change and soil: A review to guide future

research. *CSIRO Land and Water Science Report* 5: 17-31. http://doi.org/10.1016/j.gca.2008.01.010.

31- Turunen, M., Hyväluoma, J., Heikkinen, J., Keskinen, R., Kaseva, J., Koestel, J., & Rasa, K. (2019). Quantifying physical properties of three Sphagnum-based growing media as affected by drying–wetting cycles. *Vadose Zone Journal 18*: 1-10. http://doi.org/10.2136/vzj2019.04.0033.

32- Zhang, L., Sun, X., Tian, Y., & Gong, X. (2014). Biochar and humic acid amendments improve the quality of composted green waste as a growth medium for the ornamental plant *Calathea insignis*. *Scientia Horticulturae* 176: 70-78. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.021.